

# REPÚBLICA DE CHILE



MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO DE PROPIEDAD INDUSTRIAL

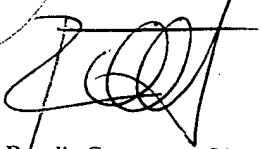
## CERTIFICADO OFICIAL

El Jefe del Departamento de Propiedad Industrial y el Conservador de Patentes de Invención que suscriben, certifican que las copias (45) adjuntas corresponden a una solicitud de Patente de Invención.

Nº 2694 - 2002

Presentada en Chile con fecha:

26 DE NOVIEMBRE DE 2002

  
Rogelio Campusano Sáez  
Conservador de Patentes de Invención





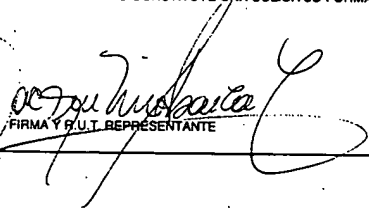
  
Eleazar Bravo Manríquez  
Jefe del Departamento de Propiedad Industrial

Santiago, 06 de Mayo de 2003.

ORIGINAL

INSTRUCCIONES:

1.- LLENE SOLAMENTE LOS RECUADROS DE TONO ROSADO CON CARACTERES NEGROS DE MAQUINA (NO MANUSCRITO)  
2.- SE ENTENDE POR PRIORIDAD AQUELLA PROTECCION SOLICITADA O CONCEDIDA ANTERIORMENTE POR EL MISMO INVENTO, GENERALMANTE EN EL EXTRANJERO

22 FECHA DE SOLICITUD  DIA      MES      AÑO  41  DIA      MES      AÑO		 REPUBLICA DE CHILE MINISTERIO DE ECONOMIA FOMENTO Y RECONSTRUCCION SUBSECRETARIA DE ECONOMIA DEPTO. PROPIEDAD INDUSTRIAL		11 NUMERO DE PRIVILEGIO			
21 NUMERO DE SOLICITUD  2694      2002							
12 TIPO DE SOLICITUD  <input checked="" type="checkbox"/> PATENTE DE INVENCION <input type="checkbox"/> PATENTE DE PRECAUCIONAL <input type="checkbox"/> MODELO DE UTILIDAD <input type="checkbox"/> DISEÑO INDUSTRIAL <input type="checkbox"/> TRANSFERENCIA <input type="checkbox"/> CAMBIO DE NOMBRE <input type="checkbox"/> LICENCIA		PRIORIDAD: TIPO  <input type="checkbox"/> PATENTE DE INVENCION <input type="checkbox"/> PATENTE PRECAUCIONAL <input type="checkbox"/> MODELO DE UTILIDAD <input type="checkbox"/> DISEÑO INDUSTRIAL  31 Nº: 33 PAIS: 32 FECHA:		ESTADO  <input type="checkbox"/> CONCEDIDA <input type="checkbox"/> EN TRAMITE		DOCUMENTOS ACOMPAÑADOS  <input checked="" type="checkbox"/> RESUMEN <input checked="" type="checkbox"/> MEMORIA DESCRIPTIVA <input checked="" type="checkbox"/> PLIEGO DE REVINDICACIONES <input checked="" type="checkbox"/> DIBUJOS <input checked="" type="checkbox"/> PODER <input type="checkbox"/> CESION <input type="checkbox"/> COPIA PRIORIDAD <input type="checkbox"/> PROTOTIPO  <input type="checkbox"/> CERTIFICADA <input type="checkbox"/> TRADUCIDA AL ESPAÑOL	
TITULO O MATERIA DE LA SOLICITUD  Procedimiento no-bioquímico para lixiviar concentrados de cobre en pilas.							
71 SOLICITANTE(S): (APELLIDO PATERNO, APELLIDO MATERNO, NOMBRES - CALLE, COMUNA, CIUDAD, PAIS, TELEFONO)  Minera Michilla S.A.							
72 INVENTOR O CREADOR: (APELLIDO PATERNO, APELLIDO MATERNO, NOMBRES - NACIONALIDAD)  Jaime Rauld Faine Freddy Aroca Alfaro Raúl Montealegre Jullian Abraham Backit Gutiérrez							
74 REPRESENTANTE: (APELLIDO PATERNO, APELLIDO MATERNO, NOMBRES - CALLE, COMUNA, CIUDAD, TELEFONO)  Jacqueline Abarza Tejo. Avda. Antonio Varas 175, Of. 1108, piso 11, Providencia, Santiago.							
DECLARO/ DECLARAMOS QUE LOS DATOS QUE APARECEN EN LOS RECUADROS DE TONO ROSADO SON VERDA- DEROS Y TAMBIEN CONOCER EL ART. 44 DE LA LEY Nº 19.039 SOBRE PROPIEDAD INDUSTRIAL Y QUE EL PRE- SENTE DOCUMENTO CONSTITUYE UNA SOLICITUD FORMAL.				RECEPCION  			
 FIRMA Y R.U.T. REPRESENTANTE				FIRMA Y R.U.T. SOLICITANTE			



(19) REPUBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE ECONOMIA  
FOMENTO Y RECONSTRUCCION  
SUBSECRETARIA DE ECONOMIA



DEPARTAMENTO DE PROPIEDAD INDUSTRIAL

(11) N° REGISTRO

(12) TIPO DE SOLICITUD:

☐

INVENCIÓN

☐

MODELO DE UTILIDAD

☐

PRECAUCIONAL

☐

MEJORA

☐

REVALIDA

(43) Fecha de Publicación:

(51) Int. Cl. °:

(21) Número de Solicitud:

(22) Fecha de Solicitud

(30) Número de Prioridad: (país, n° y fecha)

(72) Nombre Inventor(es): (incluir dirección)

(71) Nombre Solicitante: (Incluir dirección y tel.)

"Minera Michilla S.A."

Ahumada 11, Of. 602, Stgo, Chile.

Jaime Rauld Faine  
Freddy Aroca Alfaro  
Raúl Montealegre Jullian  
Abraham Backit Gutiérrez  
Ahumada 11, Of. 602, Stgo. Chile

(74) Representante: (Incluir dirección y teléfono)

Jacqueline Abarza T.  
Av. Antonio Varas 175, Of. 1108, Providencia, Chile.

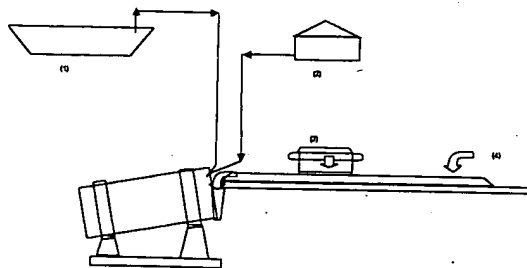
(54) Título de la Invención: (máximo 330 caracteres)

Procedimiento no-bioquímico para lixiviar concentrados de cobre en pilas.

(57) Resumen: (máximo 1600 caracteres)

Procedimiento para aglutinar concentrados de mineral, que pueden ser de cobre, en un apilamiento de guijarros, para ser lixiviados posteriormente en un lecho no inundado, que comprende la adherencia artificial del concentrado a la superficie de un material sólido que le sirve de soporte, el cual puede ser un material artificial o una sustancia pétreo, luego se acopia el material en una cancha formando una pila de lixiviación y se riega con una solución lixivante, que contiene al menos los iones Cl, Cu y Fe.

FIGURA 1



## MEMORIA DESCRIPTIVA

Procedimiento para aglutinar concentrados de cobre en un apilamiento de guijarros, para ser lixiviados posteriormente en un lecho no inundado, en el cual se agrega una solución aglutinante que contiene cloruro de calcio y una segunda solución que contiene ion sulfato,

### DESCRIPCION DE LO CONOCIDO EN LA MATERIA

Los concentrados de cobre, obtenidos usualmente por flotación, se pueden procesar en la actualidad para obtener cobre metálico, utilizando tanto técnicas pirometalúrgicas como técnicas hidrometalúrgicas. Las técnicas pirometalúrgicas, por lejos las más comunes en la actualidad, como su nombre lo indica se refieren a procesos que utilizan altas temperaturas, tales como la tostación, la fusión, la conversión y la refinación a fuego, para obtener el cobre metálico. Las técnicas hidrometalúrgicas, por otra parte, se refieren a aquellos procesos que utilizan soluciones acuosas para la extracción del cobre contenido. En las últimas décadas, el interés por los procesos hidrometalúrgicos para tratar los concentrados de cobre, se ha incrementado enérgicamente en la medida que ha aumentado, a su vez, la presión ambientalista sobre los procesos pirometalúrgicos, los cuales tienen un grave impacto sobre el medio ambiente.

Se ha estudiado un sinnúmero de procesos, en gran parte patentados, para el tratamiento hidrometalúrgico de los concentrados de cobre, con el objeto de evitar su procesamiento por las acostumbradas técnicas pirometalúrgicas. Desde un punto de vista industrial y para el interés de esta presentación, todos los procesos para el tratamiento hidrometalúrgico de los concentrados de cobre, se pueden dividir en dos grandes campos: lixiviación en reactores y lixiviación en pilas, donde lejos la mayor abundancia de procesos novedosos propuestos se encuentran en la lixiviación en reactores. A pesar de la gran cantidad de



procesos desarrollados en reactores, hasta ahora, ninguno ha logrado establecerse en la industria, como para convertirse en el procedimiento alternativo a la pirometalurgia para el tratamiento de los concentrados de cobre.

Por otra parte, a diferencia del tratamiento de concentrados de cobre en reactores, la lixiviación en pilas ha demostrado ser una técnica tremendamente valiosa para el procesamiento de grandes volúmenes de minerales de cobre. La lixiviación en pilas de minerales de cobre, tanto para los minerales oxidados como para algunos minerales sulfurados, es hoy en día uno de los pilares fundamentales en los que se sustenta la producción de este metal en el mundo.

El procedimiento al que se refiere la presente invención, corresponde a una utilización del método de lixiviación en pilas, pero aplicado a la lixiviación de concentrados, en vez de o además de minerales de cobre. Es importante señalar en este punto que, los concentrados de cobre están fundamentalmente compuestos por especies sulfuradas de cobre, con una componente mucho menor de especies oxidadas.

A continuación se hará un breve recuento de los procedimientos descritos en publicaciones y patentes, para la lixiviación de concentrados de cobre en reactores y posteriormente los intentos realizados para tratar estos concentrados en pilas, aprovechando sus mayores ventajas, prácticas y económicas.

En primer lugar, para la lixiviación de concentrados de cobre en reactores, se ha propuesto una serie de reacciones, químicas y bioquímicas que son, o bien oxidantes, o bien que catalizan las reacciones de oxidación, capaces de disolver las especies sulfuradas que contienen cobre. Entre estos están principalmente: la oxidación por medio del ion férrico o a través del ion cloro-cúprico, los óxidos nítricos, el cloro gaseoso, el oxígeno gaseoso y las bacterias ferrooxidans.



Aparte de los procesos de lixiviación bacteriana, que son los que están más cercanos a una aplicación industrial, hoy día están en progreso, aunque ninguno todavía con el avance necesario para una aplicación industrial de gran tonelaje, los siguientes procesos: lixiviación a presión y en caliente, lixiviación nitrocatalizada y lixiviación con cloruro de bromo. Todos estos procesos requieren que el concentrado esté finamente dividido.

De todos ellos, los que interesan para la presente discusión son los procesos que utilizan el ion férrico y el ion cúprico en un ambiente cloruro, porque el uso del ion cloruro es la base para la presente invención.

El uso del cloruro como una ayuda para la disolución de concentrados de cobre ha sido estudiada y se han generado patentes desde hace más de 100 años<sup>1</sup>. La lixiviación de los sulfuros utilizando cloruros tales como  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{CuCl}_2$ , es reconocida actualmente como uno de los métodos más eficientes para la producción de soluciones concentradas desde las cuales se extrae el cobre directamente, con la ventaja adicional de obtener el azufre en su forma elemental.

Entre los procesos conocidos y patentados que utilizan reactores para la lixiviación de los concentrados, se pueden citar los siguientes.

El proceso Canmet, el proceso Minemet Recherche y el proceso Broken Hill utilizan soluciones en medio sulfato - cloruro y las soluciones obtenidas son tratadas por extracción por solventes en la forma tradicional.

El proceso Cymet, usa una mezcla de  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{CuCl}_2$ , como medio de lixiviación. El  $\text{CuCl}$  obtenido es precipitado desde la solución y reducido a  $\text{Cu}$  metálico usando un flujo de hidrógeno en un reactor de lecho fluidizado.



En el proceso Clear de Duval Corporation se utiliza cloruro cúprico como lixivante junto con una salmuera conteniendo potasio y sodio. El fierro es precipitado en una segunda etapa realizada a presión como jarosita de potasio. El cobre es electrolizado en estado cuproso para obtener cristales de cobre en el cátodo. El cloruro cúprico es regenerado a partir de cuproso en el ánodo y es reciclado a la lixiviación.

El proceso USBM, es similar pero utiliza cloruro férrico, en vez de cúprico y el cobre se disuelve en la forma de cloruro cuproso. El cobre es producido directamente por electrólisis en una celda de diafragma. El reactante es regenerado en el compartimento anódico de la celda.

El proceso Dextec, causa una disolución anódica del Cu en presencia de oxidantes. La reacción toma lugar en una celda de diafragma. El Cu esponja obtenido como deposito en el compartimento catódico, contiene todas las impurezas del material de partida.

El proceso Elkem se utiliza para lixiviar concentrados complejos de Cu, Zn y Pb, en una solución de cloruro férrico y cúprico que opera en contracorriente. El Cu es recuperado en forma de esponja por EW. En una modificación de este proceso existe producción de una solución de  $\text{CuCl}_2$  a partir de la cual el cobre es separado por SX antes de la etapa de EW, con lo cual se mejora la calidad del cobre producido. En este proceso el Zinc es extraído de la solución de lixiviación usando tributilfosfato. El Pb es precipitado como  $\text{PbCl}_2$ . El proceso es muy complicado, existen problemas con el circuito de SX y la forma física del metal obtenido no es adecuada para la venta directa sin mayor procesamiento.

El proceso Cuprex, usa una solución basada en NaCl con  $\text{FeCl}_3$ , para disolver los sulfuros de cobre obteniendo una solución de  $\text{CuCl}_2$ . El Cu es extraído usando SX en medio cloruro, en tres etapas que operan en contracorriente. La re-extracción

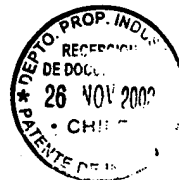


es realizada usando agua pura y produciendo una solución concentrada de  $\text{CuCl}_2$ , que es transferida a una celda de diafragma. El Cu producido es un cobre granular (que es el cátodo comercial) y la operación es más bien compleja.

El proceso Intec, realiza la lixiviación usando una solución oxidante de cloruros conteniendo cloruro de bromo (Halex). Después de una purificación de la solución usando cal, el Cu es electrolíticamente extraído en forma granular en una celda de membranas ion-selectiva. El Cu producido aunque de buena calidad química no es comercializable sin mayor tratamiento.

Todos estos procesos utilizan recipientes o reactores, generalmente agitados y a una temperatura relativamente alta, para llevar a cabo las reacciones de oxidación y disolución de los sulfuros de cobre. Los reactores agitados sufren de varias desventajas, lo que generalmente hace al proceso inviable. En primer lugar, la mayor parte de los sulfuros son refractarios a la lixiviación o difíciles de lixiviar y por lo tanto, requieren tiempos de reacción muy largos y en consecuencia, los equipos son de gran tamaño y también muy costosos. En segundo lugar, se requiere una alta entrega de energía para mantener los sólidos suspendidos y mezclados. También, generalmente la lixiviación en tanques agitados se lleva a cabo en ambientes agresivos utilizando reactivos concentrados y muchas veces a temperaturas muy altas. Esto hace que los reactores sean muy sofisticados y onerosos.

Por otro lado y en contraposición con el tratamiento en reactores, para el procesamiento de minerales sulfurados, existe el tratamiento en pilas. Este procedimiento es claramente más simple y más económico que el de los reactores, ya que no requiere de equipos sofisticados, ni altas temperaturas, ni presiones mayores que la atmosférica. Los tiempos involucrados, sin embargo, son mucho mayores que en los reactores. A pesar de ello, la inversión requerida es mucho menor, dado que el reactor en este caso, lo forma la propia pila, cuya construcción tiene un valor bastante menor que la de un reactor.





Descontando el hecho que la lixiviación en pilas está ampliamente difundida en la industria, tanto para el tratamiento de minerales oxidados como para algunos minerales sulfurados, la lixiviación de concentrados en pilas está recién en una etapa experimental.

Esto se debe a que un montón de concentrado virgen, por sí mismo, no es capaz de formar una pila estable sin un tratamiento previo. Cuando se trata de hacer esto, se producen un sinnúmero de problemas para el flujo de la solución de regado, tales como canalizaciones, apozamientos y mal drenaje, todo esto debido al pequeño tamaño de las partículas que lo componen. Por esta razón, se han investigado formas alternativas para mantener una pila de concentrado estructuralmente estable.

Se sabe de varios intentos por aglomerar las partículas de concentrados entre sí, a través del conocido proceso de peletización, utilizando agua con o sin un agente aglomerante. Estos pelets, inicialmente pueden ser efectivamente emplazados formando una pila. Sin embargo, dado que la mayor parte de los compuestos minerales que conforman el pelet reaccionan en la lixiviación, éstos pierden rápidamente su consistencia y a la postre, generalmente la pila colapsa.

Un procedimiento alternativo, que soluciona o al menos disminuye en gran medida, las desventajas antes mencionadas, consiste en adherir las partículas de concentrado a un material que le sirve de soporte. Este último puede ser un material artificial o puede ser una sustancia pétreo, tal como un mineral, un desmonte, un estéril, un ripio, etc., chancados a un tamaño adecuado.

Algunos procesos que utilizan este concepto, se han desarrollado hace poco tiempo. Por ejemplo, la Patente U.S. N° 6.063.158 de Sharp et al. del año 2.000, utiliza un empaquetamiento de esferas de polietileno llamadas "Bioballs", las cuales tienen la ventaja que presentan una



gran superficie externa donde las partículas del concentrado pueden adherirse. En esa patente, el concentrado se mezcla con grafito y un nutriente bacteriano, antes de ser adherido al empaquetamiento de esferas y posteriormente el conjunto es cargado en una pila y sometido a una lixiviación bacteriana como si fuera una pila de mineral. Como agente ligante se usa, en este caso, un polímero de polietilmetacrilato.

Por otra parte, la Patente U.S. N° 6.083.730 de Kohr, del año 2.000, utiliza un concepto similar para el tratamiento de concentrados de sulfuros, pero en vez de un sustrato artificial como el anterior, utiliza un conjunto de partículas gruesas, que pueden ser de lava, grava u otra roca. Después de adherir las partículas de concentrado a esta pluralidad de partículas que forman el sustrato grueso, se forma una pila y se procede a una biolixiviación del concentrado. Aquí el autor menciona la posibilidad de agregar un adherente polimérico, aunque asegura que éste no es necesario cuando el concentrado está húmedo en la forma de un barro (slurry). Este mismo autor tiene una gran cantidad de patentes en USA referidas a este tema, sin embargo, todas se refieren a la lixiviación bacteriana de minerales de oro o concentrados de cobre, en ningún caso a una lixiviación química.

La idea de utilizar empaquetamientos artificiales o naturales para realizar diversas reacciones hidrometalúrgicas no es nueva, ella comenzó como una forma de entregar un soporte para el crecimiento bacteriano a través de la formación de un biofilm<sup>2</sup> como ha sido probado incluso a nivel industrial.

A diferencia de las anteriores, la invención que se describe ahora, se refiere a un novedoso proceso para adherir los concentrados a las partículas gruesas, seguido por un proceso no-bacteriano, basado sólo en reacciones químicas y cuyo objetivo es el tratamiento de cualquier concentrado de cobre, por vía hidrometalúrgica, como se ve a continuación.



## RESUMEN DE LA INVENCION

Esta invención se refiere a un método exclusivamente químico, es decir, no-bioquímico y además en un ambiente cloruro, para la lixiviación de concentrados de cobre en pilas, aprovechando el hecho que estos concentrados pueden ser adheridos artificialmente a la superficie de un mineral, un estéril, un desmonte, una grava, un ripio de lixiviación u otro material sólido de similares características que les sirve de soporte, llamados en forma genérica: "guijarros".

De acuerdo con esta invención, los concentrados son, en primer lugar, añadidos al sólido que les sirve de sostén, en un equipo de mezclado estándar, tal como un tambor de aglomeración o un disco de peletización y haciendo uso de un reactivo que actúa como un aglomerante o adhesivo, cuyo principio activo es esencialmente el sulfato de calcio hidratado o yeso, obtenido "in situ" a partir de la reacción de cloruro de calcio en conjunto con ácido sulfúrico.

La mezcla así formada entre el concentrado más el mineral, grava u otro material, como fue indicado más arriba, más el cloruro de calcio en solución acuosa y en adición el ácido sulfúrico, se caracteriza porque las partículas de concentrado quedan firmemente adheridas a la superficie de las partículas de mineral gracias a la formación de dicho yeso, el cual es un adhesivo natural que se forma por la reacción del cloruro de calcio con el ácido sulfúrico agregados. La mayor ventaja de la formación del agregado anterior, consiste en que esta mezcla heterogénea tiene tales características físicas, que puede ser acopiada formando una pila, característica de las que se emplean corrientemente en las plantas hidrometalúrgicas actuales. El concentrado queda así incorporado a la pila y se beneficia de todas las ventajas de esta técnica, en términos de economía y simplicidad.

Una vez que se ha formado esta pila, el siguiente paso consiste en regar dicha pila con una solución lixivante



concentrada en cloro, fierro, cobre y otros cationes, así como algo de sulfato residual proveniente del ácido sulfúrico adicionado. Los cloruros de cobre y fierro en su mayor estado de valencia (es decir, +2 y +3, respectivamente) actúan como oxidantes de los minerales sulfurados de cobre, disolviéndolos y traspasándolos a la solución de regado en la forma de cloruros en el menor estado de valencia (es decir, +1 y +2, respectivamente) como productos de la reacción. Una vez que la solución de lixiviación, conteniendo los valores de cobre, ha salido de la pila, se le extrae parcialmente el cobre contenido, por el proceso tradicional de extracción por solventes y la solución ya tratada en ésta etapa, conteniendo todavía una proporción importante del cobre extraído, es reciclada a la pila, para seguir lixivando más especies sulfuradas de cobre.

El cobre que ha sido extraído en la etapa de extracción por solventes es re-extraído y electrorecuperado o cristalizado por procedimientos que en la actualidad son ampliamente conocidos, para obtener cátodos de cobre de alta pureza o, con un menor interés, sales de cobre.

Este proceso puede ser igualmente aplicado a cualquier material con características físicas similares a los concentrados, es decir, finamente divididos, que contengan cobre, tales como cementos (precipitados) o relaves de este metal.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN.-

Como una síntesis, el proceso de aplicación industrial para el tratamiento de concentrados de cobre por el procedimiento de esta invención, consiste de dos etapas sucesivas y complementarias. En primer lugar, el concentrado de cobre es adherido al material pétreo que le sirve de soporte en un equipo adecuado, proceso que aquí se ha denominado "aglutinación", para diferenciarlo del proceso llamado corrientemente "aglomeración", el cual es un proceso donde las partículas de un mismo material se adhieren entre sí.



Enseguida el material así formado es acopiado en una cancha formando una pila de lixiviación. Como una segunda etapa, una vez apilado el material se riega con una solución que contiene una alta concentración de cobre y de ion cloruro, los cuales tienen por objeto producir dos efectos: la oxidación del ion ferroso a férrico y la disolución de los sulfuros de cobre mediante el ion férrico así formado. El cobre solubilizado es transportado por la solución de riego y el flujo de solución obtenido a la salida de las pilas, se somete a un proceso estándar para la recuperación de cobre, preferiblemente una etapa de extracción por solventes seguido de una electro-recuperación para obtener cátodos de cobre.

A continuación se describen en detalle estas dos operaciones.

Es usual, en el estado actual del arte, que en un proceso de lixiviación en pilas de minerales chancados finos, se realice previamente una etapa de aglomeración y curado. Este concepto es válido, tanto para minerales oxidados como para minerales sulfurados de cobre. En esta etapa, se busca obtener dos resultados de la mayor importancia para la subsiguiente lixiviación en pilas, en primer lugar, se busca mejorar las características físicas del conjunto de partículas de mineral mediante un proceso de aglomeración. En este proceso, las partículas se adhieren unas a otras construyendo un conglomerado continuo de partículas unidas entre sí y formando un cuerpo solidario gracias a los mecanismos de adhesión resultantes de los puentes líquidos que se traducen últimamente en tensiones superficiales. Esta operación se realiza en la actualidad corrientemente en un tambor aglomerador.

Particularmente, en este proceso, las partículas más finas se adhieren a las de mayor tamaño gracias a este mecanismo, impidiendo que éstas últimas sean arrastradas por la solución de riego.

En segundo lugar, lo que se busca es obtener una disolución importante y rápida de las especies oxidadas de cobre



presentes en el mineral. Esto se logra adicionando ácido, preferiblemente sulfúrico, además de agua en esta etapa. Los protones del ácido reaccionan con los aniones oxidados de las especies minerales, generalmente oxígeno, hidróxido, carbonato o silicato, formando agua y liberando los cationes tales como fierro, aluminio, magnesio y otros de menor importancia, los cuales, de esta manera son disueltos en la solución. Este concepto puramente químico es lo que se denomina "curado" en el lenguaje técnico hidrometalúrgico.

Para el primer objetivo de la aglomeración, esto es, para obtener la unión entre las partículas, generalmente basta con adicionar agua, ya que ésta es capaz por sí sola, de crear una fuerza de atracción entre las partículas debido a la generación de fuerzas interfaciales. En algunos casos, se ha encontrado necesario agregar algún agente ligante o tensoactivo para reforzar este efecto, particularmente con minerales que presentan un alto contenido de partículas finas. Generalmente los agentes ligantes basan su principio activo en polímeros orgánicos tales como las poliacrilamidas, las cuales se comercializan en forma habitual.

Por otra parte, se sabe de varios intentos para utilizar materiales inorgánicos que jueguen el papel de adhesivo para las partículas de mineral. En la hidrometalurgia del oro, por ejemplo, este papel lo puede hacer y lo hace, en varias ocasiones el cemento Pórtland y el óxido de calcio. Para el cobre donde, a diferencia de los minerales auríferos, los materiales adhesivos deben ser resistentes a los ácidos, los intentos señalados incluyen el yeso, el óxido de calcio, algunas arcillas y otros.

En el proceso, objeto de esta invención, se hace uso de los mismos dos conceptos arriba descritos. Esto es, en este caso lograr la adhesión de las partículas de concentrado al material pétreo que les sirve de soporte y producir una rápida disolución de una parte del cobre contenido en el concentrado, en este caso, particularmente de los sulfuros de cobre.



Ambos conceptos se basan en los resultados descritos y presentados con anterioridad en la Patente Chilena N° 40.891, la cual se presenta ahora como un antecedente y parte integrante de la actual invención, dado que aquella fue desarrollada integralmente por los principales autores de la presente Solicitud de Patente.

Para lograr la adhesión de las partículas de concentrado al material pétreo, se hace uso del mismo concepto utilizado para los minerales, especialmente aquellos que contienen partículas finas, con la diferencia que en este caso, se usa un elemento aglomerante que se forma en el mismo lugar o "in Situ" por reacción química de un compuesto adicionado especialmente: el cloruro de calcio que reacciona con el ácido sulfúrico, reactivo que es habitualmente adicionado en esta misma instancia.

La reacción que se produce en este proceso es la siguiente:



donde el compuesto:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  también conocido comercialmente como "yeso", es un aglomerante inorgánico natural, utilizado en esta forma en varios procesos así llamados "cerámicos" para la fabricación de un sinnúmero de objetos.

La cantidad de cloruro de calcio a adicionar, debe ser tal que la cantidad de sulfato de calcio formado sea suficiente para recubrir las partículas gruesas de mineral con el objetivo de que estas sean capaces de atrapar las partículas más finas de concentrado, ejerciendo un efecto tipo "cazamoscas".

Una vez que las partículas de concentrado han sido atrapadas en las partículas de mineral, éstas ya no se liberan mecánicamente, ni siquiera incluso con una alta tasa de regado, como ya ha sido comprobado experimentalmente.

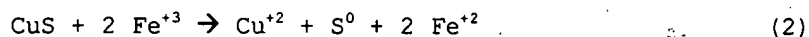


El segundo efecto que se produce en esta etapa de la presente invención, es la rápida disolución de los componentes del concentrado que contienen cobre. Puesto que en esta etapa también se agrega ácido sulfúrico, con el objeto de aportar los iones sulfato que requiere la formación del yeso, también se están adicionando forzosamente los protones del ácido sulfúrico, los cuales, por su parte, se combinan con el oxígeno de los óxidos u otros aniones oxidados del concentrado, para formar agua y dejar libres a los cationes de cobre, tal como sucede en la operación normal de curado y aglomeración de los minerales oxidados.

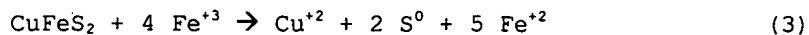
En este caso, sin embargo, la adición de cloruro de calcio produce un efecto mucho más notable, particularmente con los concentrados de cobre que contienen especies sulfuradas de cobre. El efecto que se produce, es similar al efecto del ácido sobre los minerales oxidados de cobre, esto es, una rápida disolución de los minerales sulfurados, al mismo tiempo que para los minerales oxidados y esto diferencia claramente ambos procesos, ya que en la etapa normal de curado de los minerales oxidados, solo se disuelven los minerales oxidados de cobre y prácticamente nada de los sulfuros de cobre.

La causa para que ocurra este fenómeno ha sido encontrada después de un largo período de experimentación y estudio, la cual ya fue descrita, en parte, en la Patente Chilena antes mencionada y que puede ser explicada de la siguiente sencilla manera.

En primer lugar, la reacción que ocurre para la disolución de los minerales sulfurados se puede escribir genéricamente como:



o también:





estas dos reacciones son las más importantes en la lixiviación de minerales sulfurados de cobre, porque son las que explican que es la oxidación del azufre contenido en los sulfuros la que permite la liberación del cobre en forma de catión.

En este caso, la clave del fenómeno está en la existencia del ion cloro, el cual es aportado por el cloruro de calcio tal como aparece claramente mostrado en la ecuación (1) y que sin embargo, no aparece en las reacciones (2) y (3).

En esta etapa, el cloro tiene dos efectos muy diferentes entre sí, pero igualmente importantes. En primer lugar, el cloro genera una estructura criptocristalina con el azufre producto de la reacción de los sulfuros, reacciones (2) y (3). Esto, a diferencia de lo que ocurre en ausencia de cloro, por ejemplo, en un ambiente de sulfato, produce una capa del producto de reacción que es permeable a la penetración del ion férrico y también permeable a la salida del ion ferroso y el cobre, que son los productos de reacción.

estas dos reacciones son las más importantes en la lixiviación de minerales sulfurados de cobre, porque son las que explican que es la oxidación del azufre contenido en los sulfuros la que permite la liberación del cobre en forma de catión.

En este caso, la clave del fenómeno está en la existencia del ion cloro, el cual es aportado por el cloruro de calcio tal como aparece claramente mostrado en la ecuación (1) y que sin embargo, no aparece en las reacciones (2) y (3).

En esta etapa, el cloro tiene dos efectos muy diferentes entre sí, pero igualmente importantes. En primer lugar, el cloro genera una estructura criptocristalina con el azufre producto de la reacción de los sulfuros, reacciones (2) y (3). Esto, a diferencia de lo que ocurre en ausencia de cloro, por ejemplo, en un ambiente de sulfato, produce una capa del producto de reacción que es permeable a la penetración del ion férrico y también permeable a la salida del ion ferroso y el cobre, que son los productos de reacción.

Este fenómeno está bien documentado en varios trabajos que aparecen en la literatura, por ejemplo, en las referencias.<sup>3,4</sup>

El otro efecto del ion cloro es aumentar enormemente la velocidad de oxidación del ion ferroso para formar más ion férrico que va a oxidar los sulfuros de cobre de acuerdo con las reacciones (2) y (3). Este efecto se interpreta de la siguiente manera, lo cual está descrito también en la Patente Chilena antes mencionada.

En primer lugar, en presencia de cloro, a diferencia de lo que sucede en un ambiente sulfato, el ion cuproso puede existir en equilibrio con el ion cúprico gracias a la formación de complejos de iones cloruros. A modo de ejemplo,



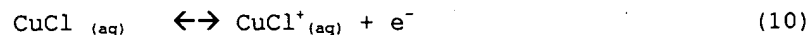
podemos señalar la existencia de los tres primeros cloruros cuprosos, que van desde el menor al mayor estado de acomplejamiento:



Donde el subíndice (aq) significa que el compuesto está en la fase líquida (acuoso). Estas ecuaciones muestran que el grado de acomplejamiento de ion cuproso es mayor cuanto mayor es la concentración de cloro en la solución. De la misma forma los primeros cloruros cúpricos se pueden escribir como:



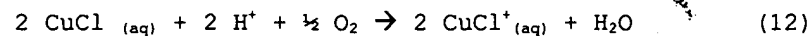
El equilibrio entre estos compuestos se puede escribir para cada par de compuestos, por ejemplo, entre los dos primeros con el menor contenido de cloro, de la siguiente manera:



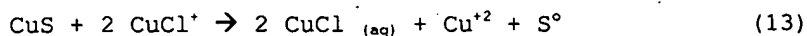
ésta es una reacción de semi-pila; se requiere otra reacción que sea capaz de consumir el electrón formado en esta reacción, esto es, una reacción con un compuesto que sea un aceptor de electrones. El candidato más evidente es el oxígeno del aire ingresando a la solución, formando agua y utilizando dos electrones:



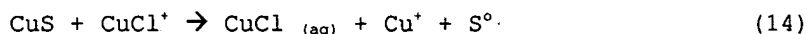
Usando esta ecuación, el equilibrio entre el ion cuproso y el ion cúprico, debería escribirse como:



en esta reacción, se produce la oxidación de un compuesto - el ion cuproso - dando lugar a un compuesto oxidado - el ion cúprico - y esta oxidación puede ser utilizada para oxidar a su vez a los sulfuros de cobre, por ejemplo:

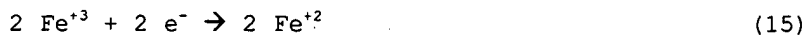


En esta ecuación, se ha escrito el ion cúprico en forma monomérica, porque esta es la forma en que se encuentra en el sulfuro. Sin embargo, es posible que este mismo ion sea capaz de oxidar una parte del azufre sulfuro y por lo tanto, que se ocupe menos ion cúprico acomplejado para oxidar el sulfuro. Es decir, que el mecanismo ocurra de acuerdo con la siguiente reacción:

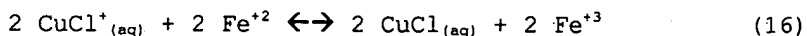


Dando lugar a la formación de ion cuproso, en vez de ion cúprico como en la reacción anterior.

A pesar de que las reacciones anteriores son termodinámicamente factibles, en presencia de fierro en la solución, la reacción más probable para la lixiviación de los sulfuros, involucra al ion férrico. Para aseverar esto existen dos fuertes razones: en primer lugar, el potencial de oxidación de la cupla electroquímica: férrica-ferrosa es mayor que el de la cupla: cúprica-cuprosa. En segundo lugar, el ion férrico es un ion más pequeño y más activo que los complejos que contienen al ion cúprico y por lo tanto, es más probable que el aceptor de electrones sea el ion férrico, de acuerdo a la siguiente reacción:



y con esto, el equilibrio entre el ion cuproso y el ion cúprico, puede escribirse como:



aquí, el ion cúprico se ha reducido a cuproso y el ion ferroso se ha oxidado a férrico y éste último reacciona con los sulfuros de cobre de acuerdo con las reacciones (2) y (3).

De acuerdo con todo lo dicho, el sistema que tiene dos cuplas electroquímicas, esto es, la cupla cloro-cúprico / cloro-cuprosa y la cupla férrico / ferrosa funciona de la siguiente manera:

I. El ion cloro-cuproso acomplejado, reacciona con el oxígeno del aire de acuerdo con la reacción (12) para formar un ion cloro-cúprico acomplejado.

II. El ion cloro-cúprico acomplejado, reacciona con el ion ferroso de acuerdo con la reacción de equilibrio (16) para formar el ion férrico, formando además - ion cloro-cuproso - como producto de reacción, el cual se vuelve a oxidar con el oxígeno del aire de acuerdo con la reacción (12).

I. El ion férrico generado en la reacción anterior, ataca a los sulfuros de cobre de acuerdo con las reacciones (2) y (3), liberando los iones de cobre contenidos en ellos, hacia la solución.

II. En esta reacción el ion férrico se reduce a ion ferroso. Este ion ferroso se vuelve a oxidar de acuerdo con el equilibrio (16).

Este mecanismo corresponde a una reacción autocatalítica ya que los reactivos necesarios para el mecanismo final, se generan internamente en el mismo sistema de reacción.

Estas mismas reacciones ocurren con las formas más complejas de los iones cuprosos y cúpricas, pero su resultado es el mismo, es decir, la oxidación del ion ferroso a ion férrico catalizada por el ion cúprico dando como producto el ion cuproso el cual se oxida fácilmente con aire.



Evidentemente, la realización del proceso descrito en la presente invención es independiente del mecanismo químico que realmente ocurre y lo anterior representa la mejor visión de los autores con el único objeto de explicar fisicoquímicamente este inusual fenómeno.

Prácticamente hablando, el proceso industrial producto de las reacciones descritas anteriormente, se puede describir con dos características:

- Un material pétreo formado por un mineral, grava, estéril, u otro material de similares características con un rango de tamaño típico de menos de 3/4" de diámetro, rodeado de un material fino de tamaño típicamente menor que 100 mallas Tyler, donde ambos materiales están adheridos mediante sulfato de calcio que les sirve de pegamento natural.
- Un líquido de empape, que rodea las partículas compositadas anteriores, que contiene una gran cantidad de cobre y fierro en solución, en todos sus estados de valencia, además de un alto contenido del ion cloro.

Este proceso se denomina "aglutinación"

Cuando este material se pone a regar, en la forma tradicional de la lixiviación en pilas, todo el cobre producido en la etapa de aglutinación es asimilado por la solución de regado, produciendo una gran recuperación de cobre en el inicio de la lixiviación.

Además, después de este violento ataque por el ácido sulfúrico en conjunto con el ion cloro agregado, todo el material, tanto el que se usa de sostén, como aquel adherido a las partículas pétreas, ha quedado susceptible de una mayor reacción, siguiendo aproximadamente las mismas reacciones descritas anteriormente durante la etapa de lixiviación, es decir, mientras la mezcla sólida es regada con una solución de alta concentración de cobre, cloro, fierro y ácido, que



son los reactivos requeridos por las reacciones de lixiviación.

Para que el proceso funcione en la forma en que se ha descrito más arriba, solo basta con que coexistan todas las especies ya mencionadas, esto es, un material de soporte, un material fino que contiene cobre, la sal cloruro de calcio en solución acuosa y ácido sulfúrico en cualquiera de sus formas comerciales. Las proporciones a utilizar entre estos componentes, dependerán de las características físicas de los dos materiales sólidos y de los resultados esperados y no están limitados por las características del proceso.

El criterio para adicionar el ácido sulfúrico, es el mismo que se emplea hoy en día para los minerales oxidados de cobre. Este, está basado generalmente en pruebas experimentales y el resultado final depende de cada mineral, o en este caso, de cada concentrado. Un criterio típico es adicionar en esta etapa el 80% del ácido que será consumido por la ganga, más el ácido que será consumido por el cobre en la etapa de aglomeración o curado. Por ejemplo, un mineral que contiene 1.5% de cobre, donde se asume que la recuperación en el curado será de 30%, requiere 7 Kg/ton de ácido debido al cobre. Si además este mineral presenta un consumo de ácido de 30 Kg/ton de consumo por ganga, entonces, la cantidad de ácido a ser agregada en esta etapa debe ser de aproximadamente 31 Kg/ton de ácido.

La cantidad de ácido agregado en la etapa de curado limita la cantidad de  $\text{CaCl}_2$  que se puede agregar. En efecto, si la cantidad de ácido es 31 Kg/ton, entonces existen a lo más 30 Kg/ton de ion sulfato disponibles para formar  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , por lo tanto, de acuerdo con la reacción (1), la cantidad de  $\text{CaCl}_2$  posible de agregar es 35 Kg/ton. Si se agrega más que esta cantidad, una parte del  $\text{CaCl}_2$  no reaccionará y su papel será inútil.



Este valor representa la cantidad máxima de  $\text{CaCl}_2$  a ser adicionada al mineral, la cual es una función de la cantidad de ácido agregada en el curado. Por otra parte, la cantidad mínima de  $\text{CaCl}_2$  a ser adicionada, es una función de la superficie de las partículas del material utilizado como sostén y que son capaces de formar núcleos de crecimiento con las partículas finas. Por ejemplo, si se usa una distribución típica de un mineral bajo 3/8" de pulgada y se supone que las partículas capaces de formar núcleos son aquellas mayores que 2 mm, entonces la superficie específica de estas partículas nucleadoras será del orden de 2.7 [ $\text{cm}^2/\text{g}$ ] de mineral.

Entonces, otro criterio para la cantidad de cloruro de calcio a agregar, podría ser el siguiente. Para que el sulfato de calcio ejerza su efecto de "cazamoscas" descrito más arriba, este debe tener una geometría tal que debe estar rodeando completamente las partículas nucleadoras del material de sostén. Para que este efecto sea como se espera, se puede asumir que la capa de sulfato de calcio debe ser capaz de retener la mitad del volumen más grande de una partícula de concentrado. Si la partícula más grande de concentrado es de 100 micrones, entonces la capa de sulfato debe tener a lo menos un espesor de 0.005 cm. Dado este valor, el volumen de yeso requerido para esta distribución de partículas del material de sostén debe ser de 0.0135 [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ]. Asumiendo una densidad para el yeso hidratado de 2.0 [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ], esto quiere decir que se necesita 0.027 g de yeso por gramo de mineral para obtener el efecto deseado. Usando la proporción de yeso formado respecto al cloruro de calcio adicionado, de acuerdo con la reacción (1), se obtiene una cantidad de 17.4 Kg de  $\text{CaCl}_2$  por tonelada de mineral.

Estos valores se dan solo como un ejemplo de como calcular las cantidades de ácido sulfúrico y cloruro de calcio a usar en cada caso, no como una limitación a nuestro invento. Pueden existir casos más complejos que este, los cuales deben ser analizados en forma particular. Las cantidades de ácido sulfúrico y cloruro de calcio a agregar dependerán de cada





caso y estos deben ser estudiados experimentalmente a propósito.

Además, estos cálculos muestran que este proceso es válido para tratar cualquier material que contenga cobre, sin importar si su origen es un material oxidado, puro o un sulfuro; el fundamento del proceso es que el sulfato de calcio formado gracias al cloruro de calcio agregado es más que suficiente para que el material formado por este método, sea capaz de formar una pila de lixiviación. Eso es lo que se quiere reivindicar en esta solicitud.

Valores numéricos de las cantidades típicas de los diferentes componentes que han sido utilizados hasta este momento, se ven más adelante en la sección de ejemplos de aplicación.

#### REALIZACIÓN PREFERIDA DE LA INVENCION.-

La realización preferida de esta invención, consiste en mezclar el material de sostén que usualmente será de tamaño menor que  $\frac{3}{4}$ ", preferiblemente menor que  $\frac{1}{2}$ " y mejor aún con un tamaño de  $\frac{3}{8}$ ", con un material fino que usualmente será menor que 100 mallas Tyler y que será el que contiene las especies valiosas de cobre, particularmente compuestos sulfurados de cobre, pero que no se limita a estos últimos, ya que pueden existir también especies oxidadas fácilmente solubles o refractarias y también cobre puro o levemente oxidado, en cuyo caso, el cloruro de calcio sirve igualmente para pegar estas partículas al material que le sirve de sostén.

La mezcla de estos dos materiales sólidos en conjunto con ácido sulfúrico y la solución de cloruro de calcio o cloruro de calcio sólido y agua, se mezclan preferentemente en un tambor rotatorio para dar lugar a un material aglutinado, el cual se dispone en pilas de la misma forma como ya es tradicional en las plantas actuales de hidrometalurgia.



## DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

FIGURA N°1: "Procedimiento para adicionar el concentrado", donde los números representan: (1) solución acuosa de  $\text{CaCl}_2$ , (2) ácido sulfúrico, (3) concentrado, (4) mineral.

FIGURA N°2: "Diagrama de flujo del proceso propuesto", donde los números representan: (5) solución acuosa de  $\text{CaCl}_2$ , (6)  $\text{CaCl}_2$ , (7) aglutinado, (8) lixiviación (9) lavado, (10) solución pobre, (11) solución intermedia, 12) solución rica 13) etapa de extracción.

FIGURA N°3: "Aspecto físico del material aglutinado".

FIGURA N°4: "Recuperación de cobre en pilas experimentales", donde la figura (a) representa la pila 101 y la figura (b) representa la pila 102.

FIGURA N°5: "Recuperación de cobre en columnas", la figura 5(a) representa la columna N° 1266 del ejemplo 2 y la figura 5 (b) la columna N°1265 del ejemplo 3.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FIGURAS

La Figura 1, muestra la forma preferida de alimentar un concentrado u otro material fino a la corriente principal de un mineral o de un material pétreo diferente.

En esta figura, el concentrado, es alimentado al flujo principal de mineral por medio de una correa perpendicular al flujo de mineral que va al tambor de aglomeración.

Posteriormente, las pilas son regadas en la forma estándar y la solución recuperada es sometida a un proceso de extracción por solventes y electrobtención.



La Figura 2, muestra el diagrama de flujos para la realización preferida de esta invención, la cual también fue mostrada en la Patente Chilena ya mencionada, pero en un contexto muy diferente.

La Figura 3, muestra el aspecto físico del material después de un tiempo en que se ha producido la aglutinación. Se puede observar el tamaño de las partículas de aglutinado y el color verdoso característico de la formación de oxiclورو de cobre.

La Figura 4, muestra las recuperaciones obtenidas para ambas pilas, las cuales resultaron ser de 93.7 % en ambos casos.

La Figura 5, muestra la curva de recuperación obtenida (a) para el ejemplo(2) y (b) para el ejemplo (3) , donde se aprecia las recuperaciones finales de 90.2% y 85.5% respectivamente. El notorio aumento de la recuperación en la parte final de la curva se debe al efecto del lavado ya mencionado.

#### EJEMPLOS DE APLICACIÓN.-

Se han realizado un gran número de experiencias utilizando el concepto descrito anteriormente, tanto en columnas como en pilas de tamaño industrial, así como con diferentes materiales, tanto para el material de sostén, es decir, mineral o material estéril, así como del material fino adherido a él. A continuación se muestran los ejemplos más significativos, a nuestro juicio, de estas pruebas experimentales.

#### EJEMPLO N° 1:

En este ejemplo, se formaron dos pilas semi-industriales de 1.000 ton, cada una, para lo cual, se mezcló un mineral mixto de cobre de baja ley proveniente del yacimiento Estefanía de Minera Michilla, con las siguientes características químicas: Cu total: 0.52%; Cu soluble: 0.30% y un consumo de ácido por test en laboratorio de 90 Kg/ton. Este mineral fue utilizado



como material de soporte. Este material fue mezclado con un concentrado en dos proporciones diferentes, en una pila con 6.9% y en la otra con 10.1%. Este concentrado tenía las siguientes características: Cu total = 26.10 %; Cu soluble = 7.27% y un consumo de ácido en laboratorio de 150 Kg/ton. De acuerdo al análisis mineralógico, la parte sulfurada de este concentrado está compuesta principalmente de calcosina, alrededor de 85% y el resto lo conforman covelina, bornita y en menor grado calcopirita. Las distribuciones granulométricas con sus leyes respectivas, del concentrado y del mineral fueron las siguientes:

#### DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL CONCENTRADO

Malla	%	%	%CuT	%CuS	%CuI
	Parcial	Acumulado	[%]	[%]	[%]
65 #	0.0	0.0			
100 #	47.6	47.6	19.71	5.78	13.93
200 #	12.2	59.8	33.80	5.93	27.86
-200#	40.2	100.0	31.35	9.43	21.92
Total	100.0		26.10	7.27	18.84

#### DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MINERAL

Malla	%	%	%CuT	%CuS	%CuI
	Parcial	Acumulado	[%]	[%]	[%]
3/8"	0.0	0.0			
1/4"	17.1	17.1	0.28	0.21	0.07
50 #	76.8	93.9	0.54	0.28	0.25
100#	1.8	95.7	0.91	0.59	0.32
200#	1.1	96.8	0.95	0.70	0.24
-200#	3.2	100.0	1.02	0.91	0.11
Total	100.0		0.52	0.30	0.22



El mineral fue alimentado junto con el concentrado a un tambor rotatorio industrial a una razón másica de 320 ton/hr. Al mismo tiempo, junto con el mineral y el concentrado, se agregó ácido sulfúrico a través de una tubería a una razón de 30 Kg/ton de mineral. En la operación normal de este tambor rotatorio industrial, normalmente en la planta, se utiliza además agua de mar a una razón de 60 lt/ton de mineral. En este caso el agua fue reemplazada totalmente por una solución preparada de agua de mar con cloruro de calcio, el cual es soluble en agua, a una concentración de 200 g/lt de cloruro de calcio utilizada en este estudio. La cantidad de esta solución empleada en este caso fue de 84 lt/ton de mineral, más alta que la cantidad de agua normal utilizada debido al consumo de agua de las reacciones de este proceso tal como fueron explicadas más arriba.

Para suministrar el concentrado se utilizó una correa lateral que alimentaba por encima a 90° de la correa principal de mineral, la cual descargaba directamente al tambor rotatorio, como se mostró en la Figura N° 1. En general, el proceso fue similar a lo que se realiza usualmente en la faena normal de aglomeración de mineral, siendo la única diferencia importante, la adición de una solución de cloruro de calcio, en vez de agua de mar, como es la práctica habitual.

Dos pilas de aproximadamente 1.000 toneladas cada una, fueron cargadas con el material que salió del tambor aglomerador. Las pilas se comenzaron a regar con una solución que contenía 84 g/lt de cloro en promedio y aproximadamente 7 g/lt de cobre. Durante todo el período que duró la lixiviación, se midió el flujo de solución que ingresó a la pila y cada un cierto número de días, usualmente tres días, se midieron las concentraciones de un compósito a la entrada y a la salida de la pila. Al cabo de un tiempo, alrededor de 110 días, las pilas se descargaron y los rípios se analizaron por cobre total y cobre soluble. Esto permitió calcular las recuperaciones por cabeza-cola de ambas pilas.



La Figura 4, muestra las recuperaciones obtenidas para ambas pilas, las cuales resultaron ser de 93.7 % en ambos casos, valor obtenido a partir de las leyes de cabeza y ripio en ambas pilas. Las leyes de cabeza fueron: 2.17 y 3.00 % de Cu total respectivamente y las correspondientes ripios: 0.136% y 0.187% de Cu total.

El valor para la recuperación indicado arriba, corresponde a la recuperación de la mezcla global del mineral de baja ley con el concentrado. Aquí no es posible saber de antemano, que recuperación corresponde al mineral y cual al concentrado, debido a que no se sabe con certeza que parte del cobre en el ripio corresponde al mineral y cual al concentrado. Lo único que se puede hacer es una estimación de las recuperaciones de ambos componentes de la mezcla, como se ve a continuación.

En primer lugar, si se asume que la ley de los ripios es la misma para los dos materiales, entonces la recuperación obtenida para el mineral es de 73.9 % y 99.5 % para el concentrado. Este valor parece ser sumamente optimista, a pesar que la recuperación del mineral está bastante adecuada a su ley de cabeza. Sin embargo, si, por otro lado, se asume que la parte de menor tamaño de los ripios, esto es, aquella bajo la malla 65#, corresponde toda al concentrado, entonces las nuevas leyes de ripios son: las recuperaciones obtenidas para el mineral son de 83.3 y 80.0 % para cada una de las pilas y 96.8 y 96.7 % de cobre total en el concentrado para cada una de las pilas. El resultado real para la recuperación de cobre total en el concentrado tiene que estar entre estos dos valores, es decir, entre 96.8 y 99.5 %.

En ambos casos las recuperaciones obtenidas son comparables con la recuperación que se obtiene en un proceso pirometalúrgico.



## EJEMPLO N° 2:

Para probar que este proceso es igualmente aplicable a otras especies de cobre, no solo las del tipo calcosítico, como se vio en el ejemplo anterior, otro ejemplo se realizó con un concentrado proveniente del tratamiento por flotación de escorias de fundiciones de cobre. Este nuevo concentrado tenía las siguientes características globales: Composición química: 31.28 % de Cu Total, 3.30% de Cu de Soluble; 23.4 % de Fe Total y 8.11%, de Fe Soluble y un consumo de ácido de laboratorio de 9.0 Kg ácido por Kg de Cu Soluble. El análisis granulométrico dio los siguientes valores:

Malla	Masa	Masa	%CuT	%CuS	%CuI
	% Parcial	% Acumulado	[%]	[%]	[%]
65 #	1.01	1.01	27.09	7.52	19.57
100 #	2.15	3.16	31.44	4.30	27.14
200 #	12.44	15.6	33.59	2.86	30.73
-200#	84.40	100.0	31.14	3.01	28.13
Total	100.0		31.41	3.06	28.35

El análisis mineralógico, por otra parte, acusó la presencia de las siguientes especies: Calcopirita: 60%, Calcosina 24.1%, Covelina: 1.6%, bornita: 5.2% con algo de pirita (6.7%) y pirrotina (<2%). También es interesante señalar que los análisis por Rayos-X, realizados a esta muestra indican que una gran parte de los sulfuros de cobre están en un estado amorfo, es decir no-cristalino y el resto en la forma de calcopirita.

Este concentrado se mezcló, en la proporción de 11.0 % en base húmeda, con un mineral que tenía la siguiente distribución granulométrica:



Malla	%	%	%CuT	%CuS	%CuI
	Parcial	Acumulado	[%]	[%]	[%]
3/8"	0.0	0.0			
1/4"	28,31	28,31	0,5	0,11	0,39
50 #	61,20	89,51	1,21	0,19	1,02
100#	1,33	90,84	1,68	0,42	1,26
200#	0,61	91,45	1,82	0,49	1,33
-200#	8,55	100,00	2,55	0,8	1,75
Total	100,00		1,13	0,22	0,91

La mezcla se realizó en un tambor homogeneizador antes de realizar la aglutinación. La ley de cabeza de la mezcla al final de este proceso resultó ser de: 3.901% de Cu total, 0.503% de Cu soluble y 3.397% de Cu insoluble. La mezcla se realizó adicionando 15.0 Kg/ton de cloruro de calcio en una solución acuosa de 150 g/l de cloro. La cantidad de ácido sulfúrico industrial adicionado fue de 30 Kg/ton finalmente se adicionó suficiente agua de mar para alcanzar un total de 100 Kg/ton de humedad.

Con el material aglomerado en esta forma, se cargó una columna de 3 m de altura y 19 cm de diámetro. Después de un período de reposo de dos días, la columna se comenzó a regar a una tasa de 20 lt/ m<sup>2</sup>hr, con una solución que tenía, como sus componentes más importantes, los siguientes: Cu: 4.7 g/lt, Fe Total: 11.8 g/lt, Fe<sup>+2</sup>: 8.3 g/lt, ácido: 7.3 g/lt y Cl: 95 g/lt. Al final de período de lixiviación, esta solución fue cambiada por otra que contenía solo 0.7 g/lt de cobre con el objeto de eliminar por lavado, el cobre que permanecía empapando al aglomerado al final de la lixiviación.

La Figura 5, muestra la curva de recuperación obtenida, donde se aprecia que la recuperación final fue 90.2%, que corresponde a una ley de los rípios de 0.383% de Cobre total.





El notorio aumento de la recuperación en la parte final de la curva se debe al efecto del lavado ya mencionado.

Nuevamente existe un problema con la estimación de la recuperación de cada uno de los materiales involucrados ya que se cuenta con una sola ley de los ripios. Al igual que en el caso anterior se puede suponer que la ley de colas es la misma para el mineral y para el concentrado, con lo cual se obtiene 98.8 % de recuperación para el concentrado y 66.4 % para el mineral. Sin embargo, este cálculo da un valor demasiado optimista. Se puede realizar un ejercicio más pesimista, considerando que los ripios que tienen un tamaño bajo la malla -100#, pertenecen todos al concentrado, las recuperaciones obtenidas son, en este caso: 91% para el concentrado y 80% para el mineral.

De cualquier forma se muestra que el proceso aquí descrito es igualmente aplicable en forma industrial para el material de las características descritas, esto es un material proveniente de la flotación de una escoria de fundición de cobre. Nuevamente, el único papel del mineral utilizado es sostener, con la ayuda del cloruro de calcio, las partículas de concentrado para que no sean arrastradas por la solución de riego. Si en vez de un mineral se utiliza un material inerte, sin cobre, el papel jugado por él es el mismo, con la ventaja adicional que desaparecería el problema de la asignación de las recuperaciones, ya que la de este material sería cero.

#### EJEMPLO N° 3:

Finalmente se da un ejemplo, para el material de cobre más difícil de lixiviar que se conoce y que corresponde a un concentrado formado principalmente por calcopirita. Con este ejemplo, se prueba que el proceso aquí descrito es válido para todos los tipos de concentrados sulfurados de cobre.



El concentrado calcopirítico utilizado tenía las siguientes características: Composición química global: 45.36 % de Cu Total, 2.80% de Cu de Soluble; 16.5 % de Fe Total, 0.8% de Fe Soluble y un consumo de ácido de laboratorio de 16.0 Kg de ácido por Kg de Cu Soluble.

El análisis granulométrico dio los siguientes valores:

Malla	Masa	Masa	%CuT	%CuS	%CuI
	% Parcial	% Acumulado	[%]	[%]	[%]
65 #	0.00	0.00			
100 #	1.18	1.18	36.06	2.80	33.26
200 #	15.14	16.32	40.15	1.80	38.35
-200#	83.68	100.0	46.91	1.60	45.31
Total	100.0		45.76	1.64	44.12

El análisis mineralógico, por otra parte, acusó la presencia de las siguientes especies: Calcopirita: 65.2%, Digenita: 25.1%, Covelina: 7.7%, bornita: 2.0% y algo de pirita (2.6%). También es interesante señalar que los análisis por Rayos-X, realizados a esta muestra indican que una gran parte de los sulfuros corresponden a calcopirita. Los resultados anteriores indican que el contenido de cobre no-calcopirítico es 56.4%. Por lo tanto, cualquier recuperación obtenida por encima de este valor, significa que una parte de la calcopirita ha sido lixiviada.

El concentrado calcopirítico se mezcló en la proporción de 11.0 % en base húmeda, con un mineral que tenía la siguiente distribución granulométrica:

Malla	%	%	%CuT	%CuS	%CuI
	Parcial	Acumulado	[%]	[%]	[%]
-3/8"	0.0	0.0			
-1/4"	22.6	22.6	0.69	0.16	0.53
50 #	69.5	92.1	1.22	0.18	1.04



100#	2.4	94.5	1.68	0.32	1.36
200#	0.9	95.4	1.83	0.47	1.36
-200#	4.6	100.00	1.95	0.47	1.48
Total	100.00		1.15	0.19	0.96

Al igual que en el ejemplo anterior, la mezcla se realizó en un tambor homogeneizador antes de realizar la aglutinación. La ley del producto resultante fue de 5.2 % de Cu total. La aglutinación se realizó adicionando 15.0 Kg/ton de cloruro de calcio en una solución acuosa de 237 g/lt de cloruro de calcio. La cantidad de ácido sulfúrico industrial adicionado fue de 30 Kg/ton finalmente se adicionó suficiente agua de mar para alcanzar una humedad total de 100 kg/ton de agua.

Con el material aglutinado en esta forma, se cargó una columna de 2.5 m de altura y 19 cm de diámetro. Después de un período de reposo de dos días, la columna se comenzó a regar a una tasa de 20 lt/m<sup>2</sup>hr con una solución que tenía, como sus componentes más importantes, los siguientes: Cu: 4.7 g/lt, Fe Total: 11.8 g/lt, fierro ferroso: 8.3 g/lt, ácido: 7.3 g/lt y Cl: 95 g/lt. Al final de período de lixiviación, esta solución fue cambiada por otra que contenía solo 0.7 g/lt de cobre con el objeto de eliminar por lavado el cobre que permanecía empapando al aglomerado al final de la lixiviación. Este lavado se llevó a cabo durante 28 días.

La Figura 5, muestra la curva de recuperación obtenida, donde se aprecia que la recuperación final fue 85.5%, para una ley de los ripios de 0.76% de Cu total. El notorio aumento de la recuperación en la parte final de la curva se debe al efecto del lavado ya mencionado.

Nuevamente existe el problema de la estimación de la recuperación de cada uno de los materiales involucrados en el proceso, ya que se cuenta con una sola ley para los ripios.



Al igual que en el caso anterior se puede suponer que la ley de ripios es la misma para el mineral y para el concentrado. En este caso se obtiene una recuperación de 29.0 % para el mineral y 98.3% para el concentrado, este cálculo da un valor demasiado optimista. Es posible realizar una suposición más pesimista asumiendo que los ripios que son menores que la malla -100#, pertenecen todas al concentrado, las recuperaciones obtenidas en este caso, son: 78.9% para el concentrado y 64.8% para el mineral.

De cualquier forma lo que muestra este ejemplo, es que el proceso es igualmente aplicable industrialmente a concentrados de minerales calcopiríticos. Nuevamente, el único papel del mineral utilizado es sostener, con la ayuda del cloruro de calcio, las partículas de concentrado para que no sean arrastradas por la solución de riego. Si en vez de un mineral se utiliza un material inerte, sin cobre, el papel jugado por él es el mismo, con la ventaja adicional que desaparecería el problema de la asignación de las recuperaciones, ya que a de este mineral sería cero.



## PLIEGO DE REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para lixiviar concentrados de mineral, que pueden ser de cobre, en un apilamiento de guijarros, CARACTERIZADO porque:

- se adhiere artificialmente el concentrado a la superficie de un material sólido que le sirve de soporte, el cual puede ser un material artificial o una sustancia pétrea, formando un aglutinado,
- se acopia el material aglutinado en una cancha formando una pila de lixiviación,
- se riega con una solución lixiviante, que contiene, al menos, iones de Cl, Cu y Fe

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, CARACTERIZADO porque:

la etapa de aglutinación se realiza mezclando simultáneamente

- I. los guijarros que tienen un tamaño típicamente menor que 3/4 de pulgada o más idealmente menor que 1/2 pulgada o mejor aún menor que 3/8 de pulgada con el concentrado de cobre en una proporción de 1 a 20 % en peso;
- II. en la etapa de aglutinación se agrega una solución de cloruro de calcio que contiene de 22 a 250 gramos de cloro por litro de solución y en una proporción de 5 a 250 kilos de cloruro de calcio por tonelada de concentrado;
- III. en la etapa de aglutinación se agrega una segunda solución que contiene ion sulfato en una proporción de 5 a 70 kilos de sulfato por tonelada de aglutinado;
- IV. el aglutinado final tiene un contenido de humedad de entre 35 a 130 kilos por tonelada de material de soporte;



V. se agrega una corriente de agua para satisfacer la condición d) cuando el agua contenida en las soluciones b) y c) no cumple con la condición d).

- 3.- Procedimiento según la reivindicación N° 2, CARACTERIZADO porque la solución acuosa que contiene cloruro de calcio se forma con agua pura, agua industrial, aguas de deshecho tratadas, agua de mar o agua salina.
- 4.- Procedimiento según reivindicación N° 2, CARACTERIZADO porque la solución que contiene los iones sulfato es ácido sulfúrico, con una concentración comprendida entre 14 y 98% en peso.
- 5.- Procedimiento según reivindicación N° 2, CARACTERIZADO porque los guijarros están formados por un mineral o un estéril o un desmonte o una grava o un ripio de lixiviación o un canto rodado.
- 6.- Procedimiento según reivindicación N° 2, CARACTERIZADO porque el concentrado es un relave de cobre o un precipitado de cobre o cualquier material pulverulento que contenga valores de cobre.
- 7.- Procedimiento según reivindicación N° 2, CARACTERIZADO porque el concentrado contiene alguna o todas de las siguientes especies: calcosina, covelina, bornita o calcopirita.
- 8.- Procedimiento según reivindicación N° 2, CARACTERIZADO porque el apilamiento de guijarros contiene valores de cobre en estado de óxidos o sulfuros.
- 9.- Un procedimiento para lixiviar concentrados de cobre en un apilamiento de guijarros, en un lecho no inundado, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, CARACTERIZADO porque:



- I. se forma una pila constituida por los concentrados de cobre aglutinados en el apilamiento de guijarros, la cual se deja en reposo durante un tiempo comprendido entre 15 y 90 días.
- II. la pila se lixivía con una solución lixivante a un flujo de 5 a 100 [lt/m<sup>2</sup>hr] durante un tiempo comprendido entre 50 y 300 [días].
- III. terminada la etapa de lixiviación, la pila es lavada con un flujo de 5 a 100 [lt/m<sup>2</sup>hr] durante un tiempo comprendido entre 1 y 30 [días].
- 10.- Un procedimiento para lixiviar concentrados de cobre, aglutinados según la reivindicación N°2, en apilamiento de guijarros en lecho no inundado según reivindicación N°9, CARACTERIZADO porque la solución lixivante contiene entre 0,5 y 10 [g/lt] de cobre, entre 50 y 120 [g/lt] de cloro y 5 a 25 [g/lt] de acidez sulfúrica equivalente.
- 11.- Un procedimiento según las reivindicaciones N°2 y N°9, CARACTERIZADO porque la solución lixivante se forma a partir de soluciones intermedias del proceso.
- 12.- Un procedimiento según las reivindicaciones N°2 y N°9, CARACTERIZADO porque parte o todo el cloro de la solución lixivante es aportado por el cloruro de calcio agregado en la etapa de aglutinación.
- 13.- Un procedimiento según las reivindicaciones N°2 y N°9, CARACTERIZADO porque la solución de lavado es agua pura o agua industrial o agua de mar o solución de refino.
- 14.- Un procedimiento según la reivindicación N°9, y N°13, CARACTERIZADO porque la solución de refino contiene entre 0 y 1 [g/lt] de cobre, entre 60 y 130 [g/lt] de cloro y 10 a 40 [g/lt] de acidez sulfúrica equivalente.



## APENDICE

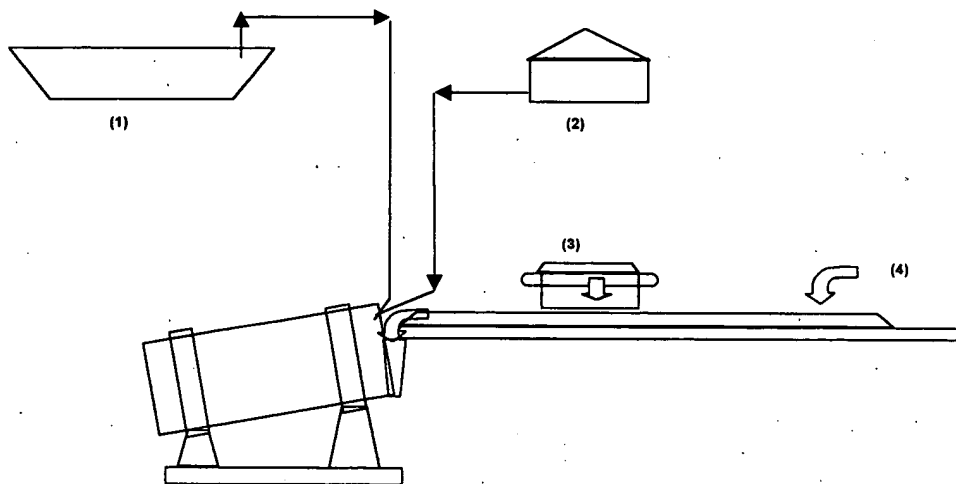
### REFERENCIAS CITADAS

- <sup>1</sup> Hoepfner, C., Electrolytic production of metals. US Patent N° 507.130, (1893)
- <sup>2</sup> Garcia, M.J., Palencia, I. And Carranza F., "Biological Ferrous Iron Oxidation in Packed-bed Columns with Low-Grade Sulphide Mineral as Support" Process Biochemistry, 36-47, June, (1989)
- <sup>3</sup> Jones, D.L. and Peters, E. (1976); "The Leaching of Chalcopyrite with Ferric Sulfate and Ferric Chloride". In Extractive Metallurgy of Copper. Ed. J.C. Yannopoulos and J.C. Agarwal, Chapter 32. Page. 633-653. The Metall. Soc. of AIME., New York, (1976)
- <sup>4</sup> Majima, H., Awakura, Y., Hirato, T. and Tanaka, T., The leaching of chalcopyrite in ferric chloride and sulfate solutions. Can. Met. Quart., Vol. 24, 283-291, (1985)





FIGURA 1



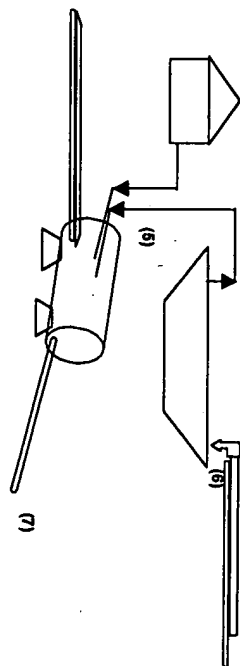
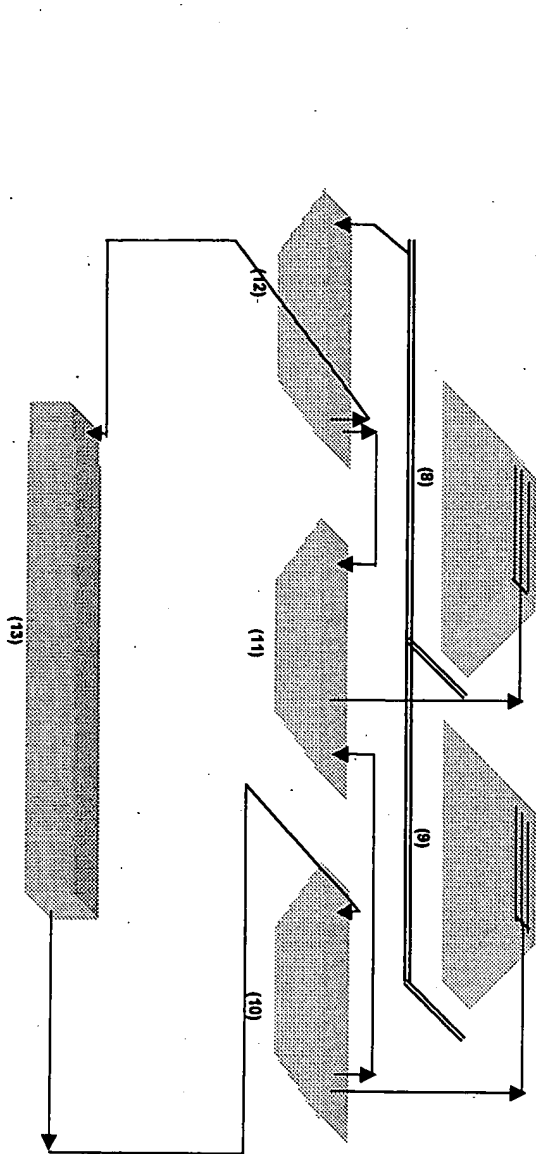
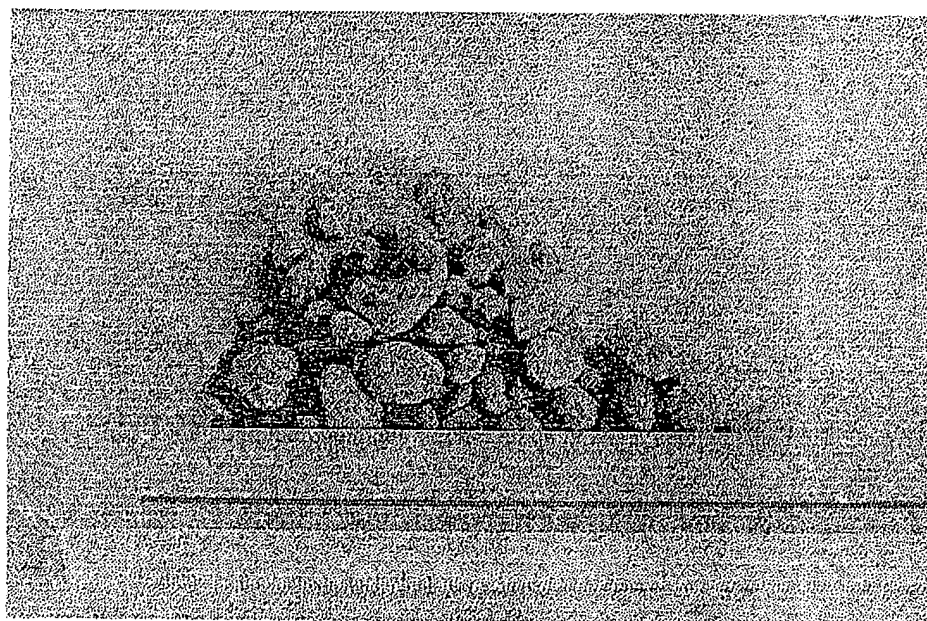
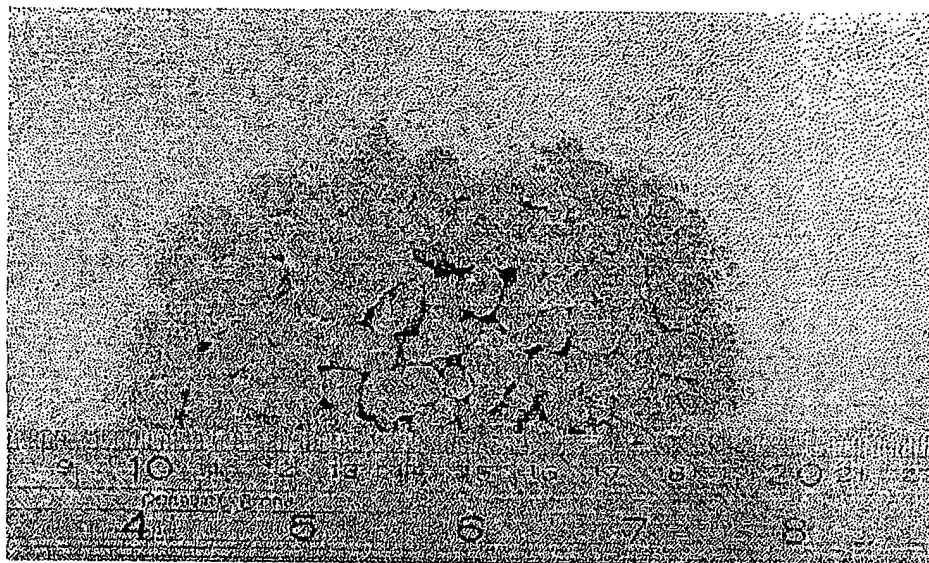


FIGURA 2



FIGURA 3



BEST AVAILABLE COPY

FIGURA 4 (a)

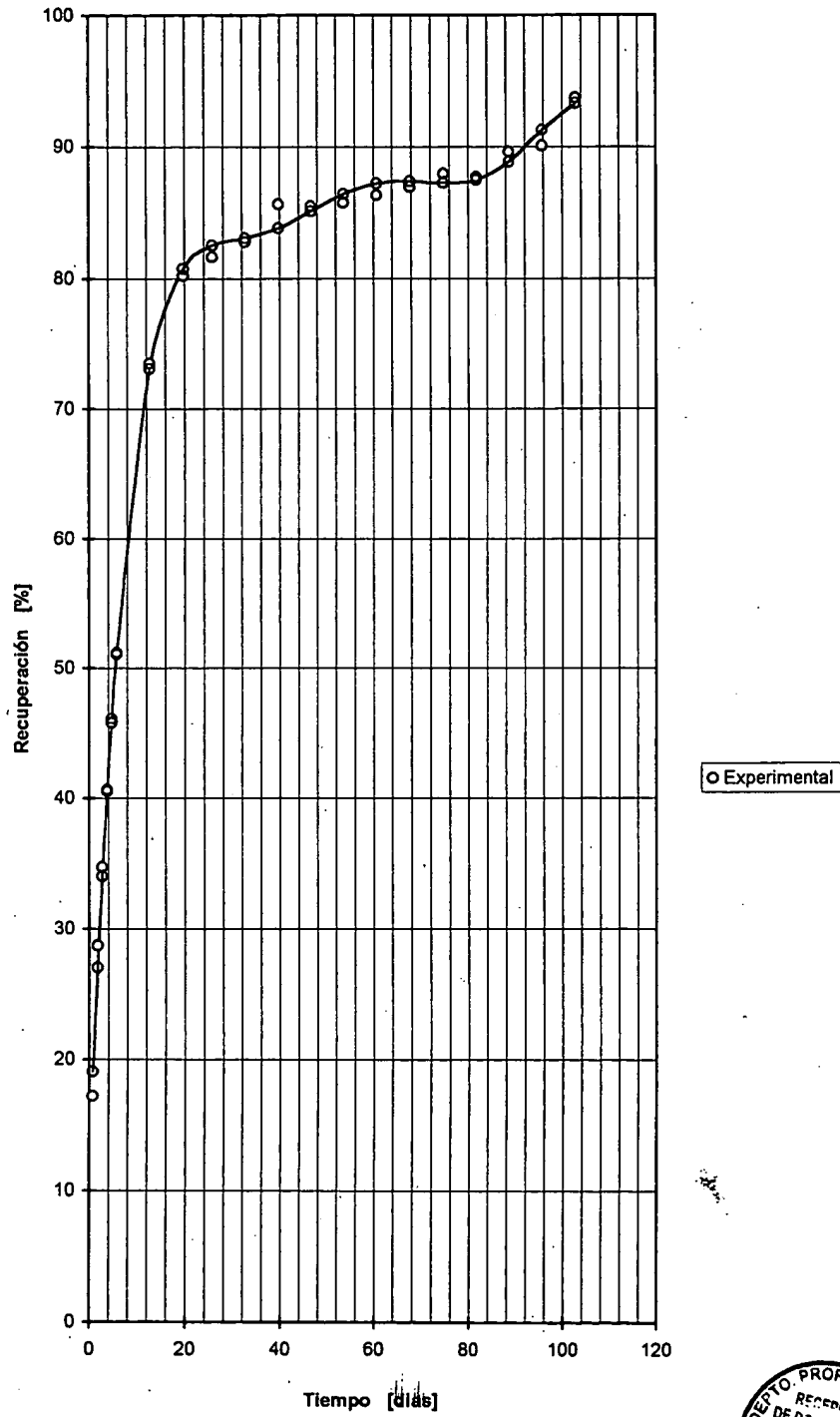
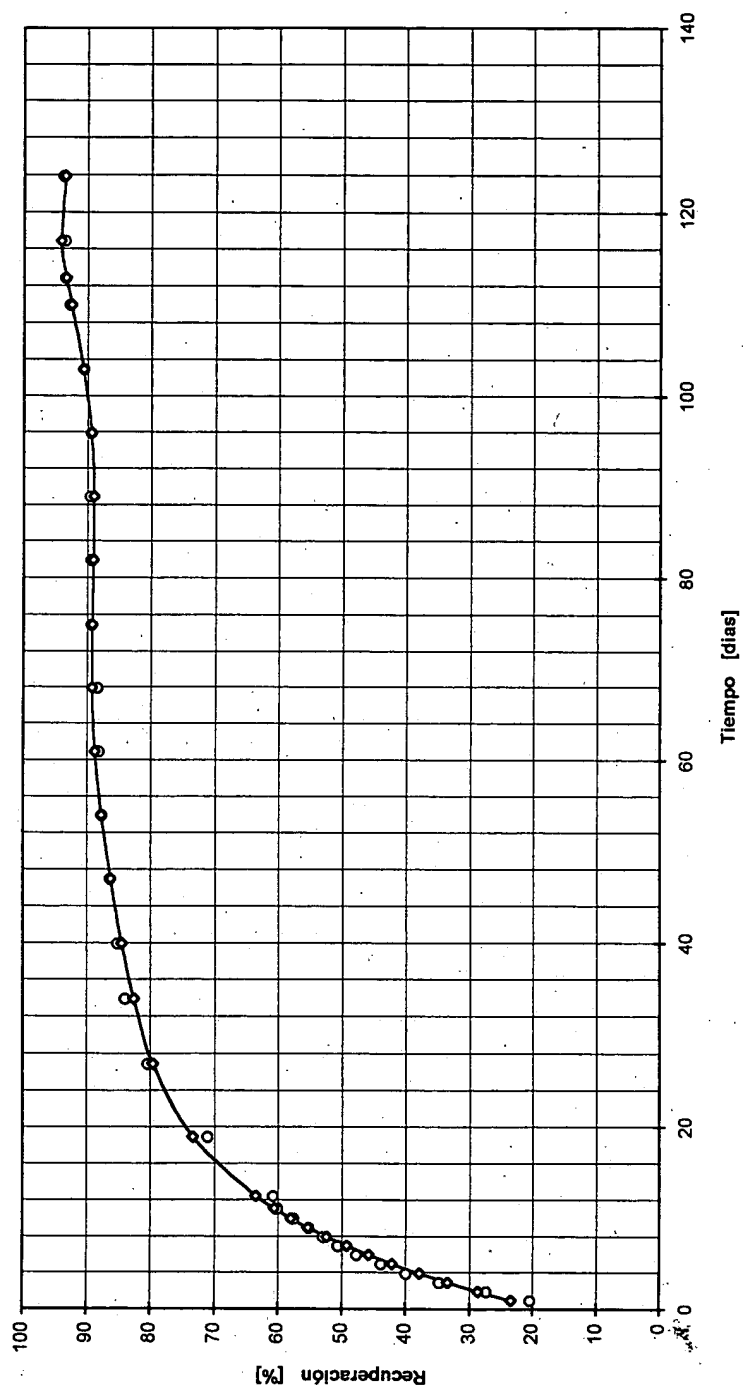


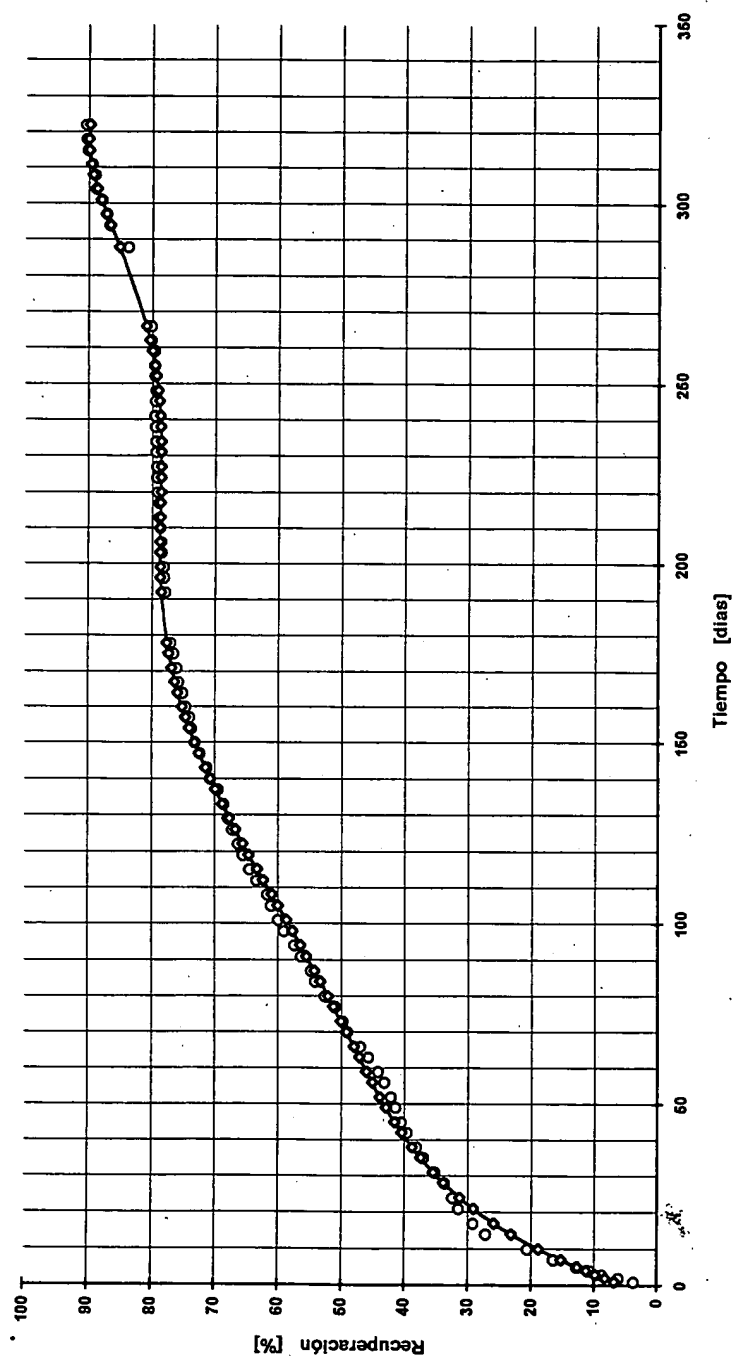
FIGURA 4(b)



o Experimental



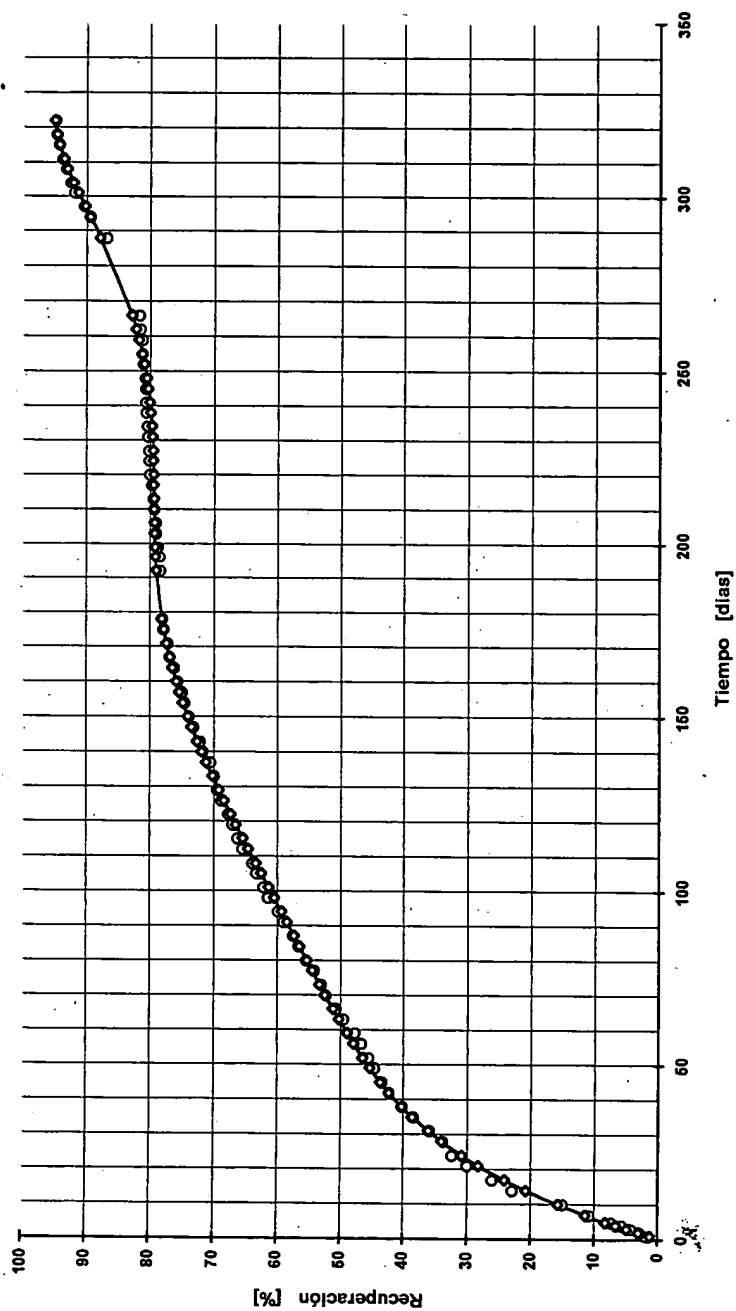
FIGURA N°5(a)



o Experimental



FIGURA N°5(b)



PODER

Comparece don Jaime Uribe Valdés, chileno, casado, abogado, cédula nacional de identidad N° 9.804.542-2, en representación, según escritura pública de fecha 18 de julio del año 2000, otorgada ante el Notario Público, Gustavo Montero Marti, Suplente del Titular de la Octava Notaria de Santiago, señor Andrés Rubio Flores, de Minera Michilla S.A., ambos domiciliados en esta ciudad, Paseo Ahumada N° 11, Oficina 602 y expone: Por el presente instrumento otorga poder a doña Jacqueline Abarza Tejo, cédula nacional de identidad N° 7.882.750-5, abogada y domiciliada en Avda. Nueva Los Leones 0135 - G, Providencia, Santiago, en materias relacionadas con propiedad intelectual, para que en ejercicio de este poder solicite en las Oficinas y de las autoridades nacionales y/o extranjeras que corresponda, la concesión, renovación, modificación y transferencia de Marcas Comerciales, Frases de Propaganda, Nombres Comerciales, Patentes de Invención, Modelos de Utilidad, Diseños Industriales, Esquemas de Trazado o Topografías de Circuitos Integrados, Variedades Vegetales, Denominaciones de Origen o Indicaciones de Procedencia, Derecho de Autor, Nombres del Dominio y en general, cualquier privilegio de Propiedad Intelectual establecido en las leyes

La mandataria estará facultada para efectuar ante dichas autoridades todas las gestiones necesarias con el objeto indicado, tales como presentar solicitudes, hacer declaraciones, pagar impuestos, justificar explotaciones, solicitar copias autorizadas, recibir documentos, deducir apelaciones y reclamos, transigir judicial y extrajudicialmente, desistirse y percibir. Asimismo queda facultada para aceptar transferencias, solicitar anotaciones, deducir toda clase de oposiciones, demandas, recursos y protestos, retirarlos y desistirse de ellos y hacer cuanto fuere necesario ante cualesquiera autoridades administrativas o judiciales para los efectos precedentemente indicados con todas las facultades contenidas en ambos incisos del artículo séptimo del Código de Procedimiento Civil, que se dan por íntegramente reproducidas.

Por

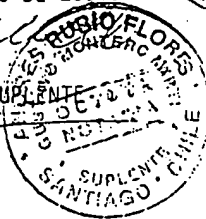
Minera Michilla S.A.

NOTARIA EDUARDO AVELLO C.  
CERTIFICO QUE LA PRESENTE FOTOCOPIA  
SE ENCUENTRA CONFORME CON EL  
DOCUMENTO QUE SE HA TENIDO A LA  
VISTA, Y QUE DEVUELVO AL INTERESADO  
SANTIAGO, 10 JUL 2001

Notario

AUTORIZO LA FIRMA DE DON JAIME IGNACIO URIBE VALDES, C.N.I. N° 9.804.542-2 POR  
MINERA MICHILLA S.A.- SANTIAGO, 13 DE JUNIO DE 2001 -

NOTARIO SUPLENTE



Minera Michilla Garrido Pérez